

DOI:10.11937/bfyy.201707003

C_2H_4 、 CO_2 和 N_2 混合气调对绿豆芽外观形态和产量构成的影响

张安华¹, 陈 涛², 王 萍¹, 祝菊红¹, 赵志远¹, 蔡 翔¹

(1. 武汉市农业科学院 作物科学研究所, 湖北 武汉 430345; 2. 湖北维民种苗有限公司, 湖北 武汉 430207)

摘 要:以 C_2H_4 、 CO_2 和 N_2 为试验因子, 选用 $L_9(3^4)$ 正交设计不同浓度混配组合; 以下胚轴长、下胚轴粗和主根长为绿豆芽外观形态考察指标; 全株质量和产出比为产量构成考察指标, 采用正交设计矩阵分析, 对 3 个外观形态和 2 个产量构成考察指标的权矩阵分析和外观形态与产量构成的总权矩阵进行分析, 为绿豆芽工厂化生产提供最佳混合气调方案。结果表明: 影响绿豆芽外观形态和产量构成的权重由大到小的因子与水平依次为 $A_3=0.230\ 0$ 、 $B_1=0.059\ 7$ 、 $C_3=0.058\ 8$, 说明绿豆芽外观形态和产量构成与 C_2H_4 、 CO_2 和 N_2 的关联度依次为 $C_2H_4 > CO_2 > N_2$; 最优处理组合为 $A_3B_1C_3$ 。综合分析成本及环境考量, 认为生产实践中采用 $C_2H_4\ 60\ mL \cdot L^{-1}$ 、 $CO_2\ 800\ mL \cdot L^{-1}$ 、 $N_2\ 85\%$ ($A_3B_1C_2$) 混合气调方案, 有益于绿豆芽下胚轴增长增粗、抑制主根伸长而提高产品外观商品性、增加豆芽产量。

关键词:混合气调; 外观形态; 产量构成; 矩阵分析

中图分类号:S 649 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)07-0012-06

芽菜是世界性大众蔬菜, 以其丰富的种类和品种占据蔬菜市场的重要地位。随着人民对芽菜由数量增长到质量需求的转变, 人们对鲜食豆芽卫生安

第一作者简介:张安华(1961-), 男, 本科, 高级农艺师, 现主要从事蔬菜栽培技术等研究工作。E-mail: 1259157360@qq.com.

责任作者:蔡翔(1986-), 男, 博士, 农艺师, 现主要从事特色作物栽培技术等研究工作。E-mail: caixiangmage@163.com.

基金项目:武汉市高新技术成果转化及产业化资助项目(2014020303010188)。

收稿日期:2016-12-13

全水平要求的提高, 我国工厂化、规模化、机械化和自动化的芽菜生产方式正逐步替代传统作坊式的豆芽生产方式^[1]。现代生产方式对豆芽的外观商品性和生物产量提出了更高要求, 豆芽的下胚轴长、下胚轴粗和主根长等组成了芽体外观形态而影响外观商品性; 豆芽全株鲜质量和干籽产出比是其生物产量的重要构成。豆芽的快速生产、外观改善和营养提高是当下豆芽生产研究的焦点^[2]。

豆芽的产量、外观和营养受多种因素影响。大豆和绿豆种子百粒质量与豆芽产量呈极显著负相关^[3]。除种子大小外, 培养环境的气体成分也是影

existing peat-dependent seedling substrate, and to effectively reduce the cost of the seedling substrate. Finally, to improve seedling quality. Corn stalks, rotten cow dung, rice husk, mushroom residue and slag five kinds of common organic material were used as the main raw materials, designed for six kinds of matrix formula, with commodity nursery substrates as control (CK) of cucumber, tomato seedling experiment were carried out respectively. Based on relevant indicators effect comparing with different matrix formula. The results showed that the T4 formula matrix (corn stalks : rotten cow dung : rice husk : slag = 20 : 30 : 30 : 20), could meet the requirements of cucumber seedling, T3 (corn stalks : mature cow dung : rice husk : slag = 25 : 25 : 25 : 25) and T5 (corn stalks : mature cow dung : rice husk : slag = 20 : 20 : 40 : 20) were suitable for tomato seedling application.

Keywords: substrate; organic material; cucumber; tomato

响豆芽产量、外观和营养的重要因素。乙烯抑制了绿豆芽下胚轴的纵向生长,促进了绿豆芽下胚轴的横向生长,改善了绿豆芽的外观品质,增加了绿豆芽下胚轴体积和鲜质量,从而增加了绿豆芽的产量^[4]。能显著提高可溶性蛋白质、可溶性糖和维生素 C 的含量^[5]。二氧化碳气体处理能有效地控制豆芽胚轴的黄变;明显增加豆芽维生素 C 含量;能有效地促使豆芽增长;提高豆芽产量并使豆芽变粗、有光泽、半透明又显质地饱满,从而提高豆芽质量^[6-7]。任广鸣^[6]适宜豆芽生长的空气成分组成为氧气 10%,二氧化碳 10%,氮气 80%。

乙烯(C_2H_4)是健康植物细胞的代谢产物,植物的任何生活部分都能产生乙烯,并引起有关的生理效应^[8]。是植物成熟过程中自然产生的一种植物激素,对人体无不良作用^[9]。二氧化碳(CO_2)和氮气(N_2)是空气组成的基本成分,气体对发芽和胚根的影响因环境条件表现出交互作用效应。在相对较低浓度的 CO_2 中,协同乙烯作用时,可以促进莴苣、羊带来、向日葵、地三叶等种子的萌发^[9]。 CO_2 之所以能提高某些物种的萌发率,在于 CO_2 影响了种子内部乙烯的敏感性从而提高了萌发潜力^[10]。植物细胞中乙烯的产生对环境温度和周围的气体组成非常敏感,降低温度和氧分压均能强烈抑制乙烯的产生^[8]。在豆芽培育过程中,植物体本身亦会产生乙烯,但产生的量不足,因此人工添加乙烯而提高浓度,就可抑制豆芽生根^[11]。

该研究以 C_2H_4 、 CO_2 和 N_2 气体按 $L_9(3^4)$ 正交设计混配组合,探讨 3 种气体不同混合处理对绿豆芽外观形态和产量构成的影响,为绿豆芽工厂化生产提供 C_2H_4 、 CO_2 和 N_2 的最佳混合气调方案。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试绿豆产地为黑龙江省林甸县(千粒质量 48.70 g,36 h 发芽率为 95.6%); C_2H_4 、 CO_2 和 N_2 为上海春雨特种气体有限公司生产;气体释放采用预设式精量控制系统(武汉市农业科学院农业机械化研究所设计安装),由传感器、控制柜、分导供气 and 气体均混系统构成;检测仪器为 2014JCG 型温度监测仪、EST-10 型乙烯浓度检测仪、AR8200 型二氧化碳检测仪、BF90 型氮气检测仪和电子天平、干湿温度计、游标卡等。

1.2 试验方法

试验于 2015 年 8—11 月在武汉市农业科学

院作物科学研究所人工气候室(供试场所为单间 19.5 m²、容积 54.6 m³)进行。以 A 因素为 C_2H_4 使用浓度,设 30(A_1)、60(A_2)、90(A_3)mL·L⁻¹ 3 个值;以 B 因素为 CO_2 使用浓度,设 800(B_1)、1 000(B_2)、1 200(B_3)mL·L⁻¹ 3 个值;以 C 因素为 N_2 使用浓度,设 80%(C_1)、85%(C_2)、90%(C_3)3 个值,选用 $L_9(3^4)$ 正交设计,共 9 个处理、3 次重复;各重复每筐定量用干豆 1.2 kg,将浸种后的豆种起水沥干,分置于长、宽、高为 48、32、22 cm 的底部带孔塑料筐中,在 (25±1)℃ 恒温条件下培育 120 h,培育过程每 4 h 浇水一次。

试验依各处理于同一气候室分 9 次进行,每次 3 个重复;混合气体于播种后第 24、48、72、96 h 定量释放相应处理的 C_2H_4 、 CO_2 和 N_2 ,通过气体均混系统混匀并维持 1 h 后排至自然空气值。

1.3 项目测定

按重复每筐分上下 2 层取样,每层取样 20 株,测定下胚轴长(子叶下至胚根上)、下胚轴粗(胚根上 1 cm 处)、主根长(胚根总长)、全株质量(子叶+下胚轴+胚根);按重复测产,计算产出比(产品鲜质量/干籽质量)。

1.4 数据分析

采用正交实验设计矩阵分析法处理数据^[12-13]。

2 结果与分析

2.1 不同处理对绿豆芽外观形态和产量构成指标的影响

由表 1 可以看出,下胚轴长以 $A_2B_2C_3$ 即处理 5 最优;下胚轴粗以 $A_3B_1C_3$ 即处理 7 最优;主根长以 $A_1B_3C_3$ 即处理 3 最优;全株质量及产出比以处理 5 和 7 即 $A_2B_2C_3$ 和 $A_3B_1C_3$ 最优。

2.2 不同处理绿豆芽外观形态和产量构成指标的极差分析

据表 2 对各处理 5 个构成指标进行极差分析,影响下胚轴长、下胚轴粗、主根长和全株质量、产出比的最佳因素与水平分别为 $A_2C_2B_2$ 、 $A_3B_1C_3$ 、 $A_3B_2C_2$ 、 $A_2C_3B_1$ 、 $A_2C_3B_1$ 。

2.3 绿豆芽外观形态构成指标的权矩阵分析

外观形态构成指标中,在保证豆芽产量和品质的前提下,下胚轴长、下胚轴粗越大越好;主根长越短越好。

2.3.1 下胚轴长权矩阵分析 因素 A 权重大小依次为 $A_2 > A_1 > A_3$,即 C_2H_4 使用浓度 60 mL·L⁻¹ 最好;因素 B 权重依次为 $B_2 > B_1 > B_3$,即 CO_2 使用浓

表 1

不同处理绿豆芽外观形态和产量构成指标

Table 1

Morphology and yield components of different treated mungbean sprouts

序号 Number	处理 Treatment	下胚轴长 Length of hypocotyls/cm	下胚轴粗 Diameter of hypocotyls/mm	主根长 Length of root/cm	全株质量 Weight per sprout/g	产出比(豆芽/干籽) Output ratio(Fresh weight/dry weight)
1	A ₁ B ₁ C ₁	8.40	3.03	6.50	0.60	12.32
2	A ₁ B ₂ C ₂	8.71	2.81	5.90	0.59	12.11
3	A ₁ B ₃ C ₃	8.20	2.74	6.64	0.62	12.73
4	A ₂ B ₁ C ₂	8.95	3.35	4.10	0.68	13.96
5	A ₂ B ₂ C ₃	8.96	3.32	4.12	0.70	14.37
6	A ₂ B ₃ C ₁	8.13	3.22	4.28	0.69	14.17
7	A ₃ B ₁ C ₃	7.38	3.87	4.09	0.70	14.37
8	A ₃ B ₂ C ₁	7.97	3.62	4.04	0.61	12.52
9	A ₃ B ₃ C ₂	8.12	3.74	4.08	0.65	13.35

度 1 000 mL · L⁻¹ 最好; 因素 C 权重依次为 C₂ > C₃ > C₁, 即 N₂ 使用浓度 85% 最好, 但 C₃、C₁ 差异不明显; 因素间对下胚轴长的关联度以 C₂H₄ 影响最

大, N₂ 次之, CO₂ 最小, 说明适当提高 C₂H₄、N₂ 和 CO₂ 的浓度(该研究均为第 2 水平)有益于下胚轴增长。

$$w_1 = M_1 T_1 S_1 = \begin{vmatrix} 8.44 & 0 & 0 \\ 8.68 & 0 & 0 \\ 7.82 & 0 & 0 \\ 0 & 8.24 & 0 \\ 0 & 8.55 & 0 \\ 0 & 8.15 & 0 \\ 0 & 0 & 8.17 \\ 0 & 0 & 8.59 \\ 0 & 0 & 8.18 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 24.94 & 1 & 0 \\ 0 & 24.94 & 1 \\ 0 & 0 & 24.94 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 0.86 \\ 1.68 \\ 1.68 \\ 0.40 \\ 1.68 \\ 0.42 \\ 1.68 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.173 & 0 \\ 0.177 & 9 \\ 0.160 & 3 \\ 0.079 & 1 \\ 0.082 & 1 \\ 0.078 & 2 \\ 0.081 & 7 \\ 0.085 & 9 \\ 0.081 & 8 \end{vmatrix}。$$

表 2

不同处理绿豆芽外观形态和产量构成指标极差分析

Table 2

Range analysis of morphology and yield components from different treated mungbean sprouts

处理 Treatment	因素 A Factor A	因素 B Factor B	因素 C Factor C	下胚轴长 Length of hypocotyl/cm	下胚轴粗 Diameter of hypocotyl/mm	主根长 Length of root/cm	全株质量 Weight per sprout/g	产品鲜质量/干豆质量 Fresh weight/dry weight
1	1	1	1	8.40	3.03	6.50	0.60	12.32
2	1	2	2	8.71	2.81	5.90	0.59	12.11
3	1	3	3	8.20	2.74	6.64	0.62	12.73
4	2	1	2	8.95	3.35	4.10	0.68	13.96
5	2	2	3	8.96	3.32	4.12	0.70	14.37
6	2	3	1	8.13	3.22	4.28	0.69	14.17
7	3	1	3	7.38	3.87	4.09	0.70	14.37
8	3	2	1	7.97	3.62	4.04	0.61	12.53
9	3	3	2	8.12	3.74	4.08	0.65	13.35
k ₁	8.44	8.24	8.17	下胚轴长	k ₁	2.86	3.42	3.29
k ₂	8.68	8.55	8.59		k ₂	3.30	3.25	3.30
k ₃	7.82	8.15	8.18		k ₃	3.74	3.23	3.31
极差	0.86	0.40	0.42		极差	0.88	0.19	0.02
优方案	A ₂	B ₂	C ₂	主根长	优方案	A ₃	B ₁	C ₃
k ₁	6.35	4.90	4.94		k ₁	0.60	0.66	0.63
k ₂	4.17	4.69	4.69		k ₂	0.69	0.63	0.64
k ₃	4.07	5.00	4.95		k ₃	0.65	0.65	0.67
极差	2.28	0.31	0.26	产出比	极差	0.09	0.03	0.04
优方案	A ₃	B ₂	C ₂		优方案	A ₂	B ₁	C ₃
k ₁	12.39	13.55	13.01					
k ₂	14.17	13.00	13.14					
k ₃	13.42	13.42	13.82					
极差	1.78	0.55	0.81					
优方案	A ₂	B ₁	C ₃					

2.3.2 下胚轴粗权矩阵分析 以下胚轴粗分析,因素 A 权重依次为 $A_3 > A_2 > A_1$, 因素 B 权重依次为 $B_1 > B_2 > B_3$, 因素 C 权重依次为 $C_3 > C_2 = C_1$; 表现出下胚轴粗与 C_2H_4 浓度正相关, 与 CO_2 浓度负相关,

$$w_2 = M_2 T_2 S_2 = \begin{vmatrix} 2.86 & 0 & 0 \\ 3.30 & 0 & 0 \\ 3.74 & 0 & 0 \\ 0 & 3.42 & 0 \\ 0 & 3.25 & 0 \\ 0 & 3.23 & 0 \\ 0 & 0 & 3.29 \\ 0 & 0 & 3.30 \\ 0 & 0 & 3.31 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \frac{1}{9.90} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{9.90} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{9.90} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 0.88 \\ 1.09 \\ 1.09 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.233 & 1 \\ 0.269 & 0 \\ 0.304 & 8 \\ 0.060 & 2 \\ 0.057 & 2 \\ 0.005 & 9 \\ 0.005 & 9 \\ 0.006 & 0 \end{vmatrix}。$$

2.3.3 主根长权矩阵分析 以主根长分析,因素 A 权重依次为 $A_3 > A_2 > A_1$, 因素 B 权重依次为 $B_2 > B_1 > B_3$, 因素 C 权重依次为 $C_2 > C_1 > C_3$, 表现出随 C_2H_4 浓度的升高对主根生长的抑制作用增强; 浓度

过低和过高的 CO_2 和 N_2 对主根生长的抑制作用有减弱的趋势, 因子间对主根长的影响关联度以 C_2H_4 浓度影响最大, CO_2 次之, N_2 浓度影响最小且 C_1 和 C_3 之间差异不大。

$$w_3 = M_3 T_3 S_3 = \begin{vmatrix} \frac{1}{6.35} & 0 & 0 \\ \frac{1}{4.17} & 0 & 0 \\ \frac{1}{4.07} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{4.90} & 0 \\ 0 & \frac{1}{4.69} & 0 \\ 0 & \frac{1}{5.00} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{4.94} \\ 0 & 0 & \frac{1}{4.69} \\ 0 & 0 & \frac{1}{4.95} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1.555 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 1.620 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.619 & 2 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 2.28 \\ 2.85 \\ 2.85 \\ 2.85 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.196 & 0 \\ 0.298 & 4 \\ 0.305 & 7 \\ 0.036 & 0 \\ 0.037 & 6 \\ 0.035 & 3 \\ 0.029 & 9 \\ 0.031 & 5 \\ 0.029 & 8 \end{vmatrix}。$$

2.4 产量构成指标的权矩阵分析

2.4.1 全株质量权矩阵分析 以全株质量分析,因素 A 权重依次为 $A_2 > A_3 > A_1$, 因素 B 权重依次为 $B_1 > B_3 > B_2$, 因素 C 权重依次为 $C_3 > C_2 > C_1$, 全株质

量表现出随 N_2 浓度增加而增加和适中浓度的 C_2H_4 及低浓度 CO_2 益于全株质量提高的趋势; 因子间对全株质量的关联度影响以 C_2H_4 浓度影响最大, N_2 次之, CO_2 浓度影响最小。

$$w_4 = M_4 T_4 S_4 = \begin{vmatrix} 0.60 & 0 & 0 \\ 0.69 & 0 & 0 \\ 0.65 & 0 & 0 \\ 0 & 0.66 & 0 \\ 0 & 0.63 & 0 \\ 0 & 0.65 & 0 \\ 0 & 0 & 0.63 \\ 0 & 0 & 0.64 \\ 0 & 0 & 0.67 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \frac{1}{1.94} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{1.94} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{1.94} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 0.09 \\ 0.16 \\ 0.16 \\ 0.16 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.174 & 0 \\ 0.200 & 1 \\ 0.188 & 5 \\ 0.063 & 8 \\ 0.060 & 9 \\ 0.062 & 9 \\ 0.081 & 2 \\ 0.082 & 5 \\ 0.086 & 4 \end{vmatrix}。$$

2.4.2 产出比权矩阵分析 以产出比分析,因素 A 权重依次为 $A_2 > A_3 > A_1$, 因素 B 权重依次为 $B_1 >$

$B_3 > B_2$, 因素 C 权重依次为 $C_3 > C_2 > C_1$, 与全株质量权矩阵分析结论一致。

$$w_5 = M_5 T_5 S_5 = \begin{vmatrix} 12.39 & 0 & 0 \\ 14.17 & 0 & 0 \\ 13.42 & 0 & 0 \\ 0 & 13.55 & 0 \\ 0 & 13.00 & 0 \\ 0 & 13.42 & 0 \\ 0 & 0 & 13.01 \\ 0 & 0 & 13.14 \\ 0 & 0 & 13.82 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 39.98 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 39.97 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1.78 \\ 3.14 \\ 0.55 \\ 3.14 \\ 0.81 \\ 3.14 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.1759 \\ 0.2012 \\ 0.1906 \\ 0.0596 \\ 0.0572 \\ 0.0590 \\ 0.0846 \\ 0.0854 \\ 0.0898 \end{vmatrix}。$$

2.5 外观形态和产量构成指标的总权矩阵分析

将下胚轴长、下胚轴粗、主根长、全株质量、产出比 5 个构成指标的权矩阵与试验设计 C_2H_4 、 CO_2 和 N_2 各处理的因素与水平进行总权矩阵分析。基于下胚轴长、下胚轴粗、主根长、全株质量、产出比 5 个构成指标综合分析,因素 A、B、C 各 3 个水平对试验

结果的影响权重依次为: $A_3=0.2300$ 、 $B_1=0.0597$ 、 $C_3=0.0588$,说明绿豆芽外观形态和产量构成与 C_2H_4 、 CO_2 和 N_2 的关联度依次为 $C_2H_4 > CO_2 > N_2$; 最优处理组合为 $A_3B_1C_3$,即 C_2H_4 $90\text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 CO_2 $800\text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 N_2 90% 。

$$w = \frac{w_1 w_2 w_3 w_4 w_5}{5} = \frac{1}{5} \begin{vmatrix} 0.1730 & 0.2331 & 0.1960 & 0.1740 & 0.1759 & 0.1904 \\ 0.1779 & 0.2690 & 0.2984 & 0.2001 & 0.2012 & 0.2293 \\ 0.1603 & 0.3048 & 0.3057 & 0.1885 & 0.1906 & 0.2300 \\ 0.0791 & 0.0602 & 0.0360 & 0.0638 & 0.0596 & 0.0597 \\ 0.0821 & 0.0572 & 0.0376 & 0.0609 & 0.0572 & 0.0590 \\ 0.0782 & 0.0568 & 0.0353 & 0.0629 & 0.0590 & 0.0584 \\ 0.0817 & 0.0059 & 0.0299 & 0.0812 & 0.0846 & 0.0567 \\ 0.0859 & 0.0059 & 0.0315 & 0.0825 & 0.0854 & 0.0582 \\ 0.0818 & 0.0060 & 0.0298 & 0.0864 & 0.0898 & 0.0588 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{vmatrix}。$$

3 讨论

综合 5 项构成指标的极差、权矩阵和总权矩阵分析结果,在 3 种气体混合气调中, C_2H_4 的极差和影响关联度均为最大,是影响绿豆芽外观形态和产量构成的重要因素和主导因子;绿豆芽外观形态和产量构成与 C_2H_4 、 CO_2 和 N_2 的关联度依次为 $C_2H_4 > CO_2 > N_2$ 。

C_2H_4 能有效增加绿豆芽下胚轴粗度、抑制主根长度,并表现出随浓度增加而作用增强的效果,与刘红开^[4]的结论一致。任广鸣^[6]报道,采用浓度为 $800\text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 CO_2 较浓度为 $600\text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 CO_2 培养的绿豆芽胚轴稍粗;而在使用 $1200\text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 CO_2 处理绿豆芽 3~5 d 后,大部分绿豆芽褐变、腐烂或子叶脱落。杨辉德等^[14]报道, CO_2 浓度在 $1200\text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ 时对豌豆芽苗生长效果最理想,该试验中 CO_2 浓度为 $800\text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ 时有益于绿豆芽下胚轴增粗,与任广鸣^[6]的结论相近。另外,该研究中出现了随 CO_2 浓度增加对绿豆芽下胚轴粗抑制力增强

的趋势,但 $1200\text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 CO_2 处理的豆芽没有出现褐变、腐烂或子叶脱落现象,可能与芽菜品种和培养方式有关。同时,随 N_2 浓度增加对绿豆芽下胚轴粗、全株质量和产出比呈正相关影响。

有研究表明,绿豆芽、黄豆芽和黑豆芽 3 种豆芽菜在下胚轴长度为 4 cm 左右(3~5 cm)时,维生素 C 含量最高^[15]。任广鸣^[6]研究认为,经 CO_2 处理的豆芽与常规方法培养的豆芽相比,前者在培养的前 5 d 其维生素 C 含量逐渐增加;而其胚轴显著生长主要表现在开始培养豆芽的前期(1~3 d)。同时,乙烯处理宜在播种后 48 h 即胚茎长度达 1.5~2.0 cm 时进行^[16];廖永霞等^[17]在其培育的第 2~3 天进行乙烯处理。该研究于播种后第 24、48、72、96 h 采用混合气体每次处理 1 h,其处理时间和剂量有待进一步研究。

影响绿豆芽外观形态和产量构成的总权矩阵结论以 $A_3B_1C_3$ 为最优方案,综合分析可知, A_2 与 A_3 的权重值仅相差 0.0007; C_2 与 C_3 的权重值仅

相差 0.000 6,说明 C_2H_4 浓度由 $60\text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ 提高到 $90\text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$; N_2 浓度由 85% 提高到 90%,均对外观形态和产量构成指标的影响微弱;而 CO_2 随浓度的升高呈负相关影响。基于上述分析和成本、环境考量,生产实践中采用 $A_2B_1C_2$ (即 $C_2H_4\ 60\text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$; $CO_2\ 800\text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$; $N_2\ 85\%$) 混合气调方案,既有益于绿豆芽下胚轴增长增粗、抑制主根伸长而提高产品外观商品性,又能增加豆芽产量。

(该文作者还有徐斌,单位同第二作者。)

参考文献

- [1] 康玉凡,陶礼明,毛振宾,等. 工厂化豆芽成为现代加工食品新宠[J]. 长江蔬菜,2008(14):73-76.
- [2] 丁俊胃,尹涛,余翔,等. 外源赤霉素,6-苄基腺嘌呤及矿物质对水培绿豆芽生长的影响[J]. 植物生理学报,2011,47(5):501-504.
- [3] 李振华,康玉凡,程须珍,等. 绿豆品种芽用特性的初步评价[J]. 中国农业大学学报,2010,15(5):31-36.
- [4] 刘红开. 乙烯对绿豆芽下胚轴生长代谢的调控效应研究[D]. 北京:中国农业大学,2014.
- [5] 康玉凡,谷瑞娟,王保民,等. ETH,KT 和 6-BA 对绿豆幼苗形态建成和生化成分的效应研究[J]. 中国农学通报,2009,25(9):19-25.
- [6] 任广鸣. CO_2 对豆芽产量及质量的作用[J]. 食品科学,1987(8):44-50.
- [7] 北京农业编辑部. 优质高产速生豆芽技术[J]. 北京农业,1995(7):18-19.
- [8] 杨学荣. 植物生理学[M]. 北京:人民教育出版社,1982.
- [9] 李蓉,叶勇. 种子休眠与破眠机理研究进展[J]. 西北植物学报,2005,25(11):2350-2355.
- [10] KATOH H, ESASHI Y. Dormancy and impotency of cocklebur seeds[J]. CO_2 , C_2H_4 , O_2 and high temperature[J]. Plant Cell Physiology, 1975(16):687-696.
- [11] 叶自新. 植物激素与蔬菜化学控制[M]. 北京:中国农业科技出版社,1988.
- [12] 周玉珠. 正交试验设计的矩阵分析方法[J]. 数学的实践与认识,2009,39(1):202-207.
- [13] 王宏. 适宜芽苗菜生产的品种评价与栽培技术优化[D]. 北京:中国农业科学院,2010.
- [14] 杨辉德,郑宝清,陈继武. 二氧化碳不同浓度对豌豆芽苗菜生长影响的对比试验[J]. 科技信息,2007(20):283.
- [15] 朱秀敏,王彩君,王建军. 几种芽菜维生素 C 含量的比较研究[J]. 北方园艺,2012(3):35-37.
- [16] 郑荣瑞,盛中德. 绿豆芽生长环境控制因子与生产模式之研究(D)-生长温度与生长特性之探讨[J]. 农业机械学报,2007(4):39-51.
- [17] 廖永霞,康玉凡,王保民,等. 乙烯、6-BA 对大豆幼苗生长、生化成分及细胞组织结构的效应[J]. 大豆科学,2009,28(1):41-45.

Effects of CO_2 , C_2H_4 and N_2 Manipulation on Yield Components of Mungbean Sprouts

ZHANG Anhua¹, CHEN Tao², WANG Ping¹, ZHU Juhong¹, ZHAO Zhiyuan¹, CAI Xiang¹, XU Bin²

(1. Wuhan Institute of Agriculture Science, Wuhan, Hubei 430345; 2. Hubei Weimin Biological Technology Co. Ltd., Wuhan, Hubei 430207)

Abstract: Length and thickness of hypocotyl and length of taproot were chose as morphology components of mungbean sprout. Weight per plant and output ration were chosen as yield components. The atmosphere conditions which contain the concentration of CO_2 , C_2H_4 and N_2 were analyzed by using orthogonal matrix $L_9(3^4)$ to study the effects on morphology and yield components. To provide best atmosphere conditions for factory production of mungbean sprouts. The results showed that, the order of factors and level which weighted from big to small was $A_3=0.230\ 0$, $B_1=0.059\ 7$, $C_3=0.058\ 8$, which meant the relevance between atmosphere conditions, morphology and yield components was $C_2H_4 > CO_2 > N_2$. However, based on environment and cost consideration, this research suggested the best atmosphere conditions were $C_2H_4\ 60\text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$; $CO_2\ 800\text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$; $N_2\ 85\%$ ($A_2B_1C_2$).

Keywords: atmosphere manipulation; appearance; yield components; matrix analysis